

# 回答書

## 多軸操舵型車両の不整地移動における 操舵角と車輪回転量の同時最適化

60200099 樋口止揚

発表日 2019 年 7 月 25 日

### 1 斜面の設定について

#### 1.1 左右両輪で斜面角が異なる場合は対応できるのか？

本研究において構築した車体移動モデルにおいては、前後の左右両輪は、共通の接触面を有する設定でモデルを構築しています。そのため左右で斜面の角度が異なる状況は想定しておらず、対応できません。

#### 1.2 対応できる斜面角は？

本研究では上昇移動だけでなく、下降移動も考慮できるようにモデルを立てています。そのため、斜面行列に対応できる斜面角は  $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$  です。  $-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}$  時は通常の段差と同様。また、  $\frac{\pi}{2}$  を超えるような壁が反り返るような斜面の移動は考慮していません。

#### 1.3 斜面角の判定について？

基本的に斜面の角度は既知のパラメータであると考えています。ですが、車軸に距離センサを取り付け、進行方向の面までの距離を測定することにより、車輪の位置および車体姿勢から算出は可能であると考えています。

#### 1.4 斜面が実際のように少しでこぼこの場合は？

斜面は完全な面を想定しており、実際の少し荒れた面などではどこまで許容できるかは分かりません。ですが最適化計算の中で、斜面のでこぼこをどこまで許容できるかというのは、今後のシミュレーション結果で判断できると考えています。

## 2 移動モデルについて

### 2.1 操舵角と車輪回転量の両方を最適化する理由は？

本研究では、操舵軸は受動的に動くと考えています。そのため本来は、各車輪の回転量から使用すべき操舵角が決まるはずですが、車体モデルが複雑なため、車輪回転量だけを最適化変数にするのではなく、操舵角も変数とし、制約条件で、操舵角と車輪回転量の関係を制約しています。

### 2.2 移動モデルの近似はどの程度許容できるのか？

今後のシミュレーションの実装によって、どの程度許容できるものなのかを判断するため、現状は断定して言えませんが、対向二輪型の旋回モデルと同様の近似のレベルまでの近似が可能であると考えています。

## 3 最適化問題について

### 3.1 最適化計算は準静的な運動として計算するのですか？

各ステップで力のつり合いを保つように最適化計算を行います。そのため運動は静的な運動です。

### 3.2 摩擦円錐制約について

接触点で滑りが生じないためには、接触力は摩擦円錐内部に選ばれなくてはならない。滑りを生じないためには以下のような、接触力の摩擦円錐を満たさなくてはならない。既知の摩擦係数  $\mu$  を用いて、接触力  $\mathbf{F} = [\mathbf{F}_{F_l}^T \quad \mathbf{F}_{F_r}^T \quad \mathbf{F}_{R_l}^T \quad \mathbf{F}_{R_r}^T]^T$  との関係は以下の式で定式化できる。接触力はこの不等式を満たすように与える。

$$\mu_{F_l} \geq \tan^{-1} \left( \frac{\|\mathbf{F}_{F_l} - (\mathbf{e}_{F_z} \cdot \mathbf{F}_{F_l}) \mathbf{e}_{F_z}\|}{\mathbf{e}_{F_z} \cdot \mathbf{F}_{F_l}} \right) \quad (1)$$

$$\mu_{F_r} \geq \tan^{-1} \left( \frac{\|\mathbf{F}_{F_r} - (\mathbf{e}_{F_z} \cdot \mathbf{F}_{F_r}) \mathbf{e}_{F_z}\|}{\mathbf{e}_{F_z} \cdot \mathbf{F}_{F_r}} \right) \quad (2)$$

$$\mu_{R_l} \geq \tan^{-1} \left( \frac{\|\mathbf{F}_{R_l} - (\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{F}_{R_l}) \mathbf{e}_z\|}{\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{F}_{R_l}} \right) \quad (3)$$

$$\mu_{R_r} \geq \tan^{-1} \left( \frac{\|\mathbf{F}_{R_r} - (\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{F}_{R_r}) \mathbf{e}_z\|}{\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{F}_{R_r}} \right) \quad (4)$$

### 3.3 目的関数を摩擦円錐制約からの差にしてはどうですか？

目的関数を摩擦円錐制約からの差にするアイデアは妥当なアイデアだと思います。しかし問題点として、目的関数はスカラーであるため、各車輪で違う「摩擦円錐制約からの差」をうまくスカラー関数にしなくてはなりません。そのため、現在は、接触力の法線方向成分を目的関数としてい

ます．今後「摩擦円錐制約からの差」のアイデアも考慮し目的関数の見直しもしていきたいと考えています．

## 4 その他

### 4.1 卒論の時は接触力が摩擦円錐に入らないことはなかったのですか？

卒論で接触力の取り方は，力のつり合いから与えられるものでなく，駆動トルクから与えられるものであったため，内力を考慮せずに摩擦円錐内部に接触力をとることができました．

### 4.2 接触力の内力項ではないもう 1 つの項は何の力を表していますか？

重力とのつり合いを与えるための力です．

$$\mathbf{F}_c = \underbrace{\mathbf{B}_c^+ \mathbf{F}_o}_{\text{重力とのつり合い項}} + \underbrace{\mathbf{K}_{B_c} \mathbf{F}_N}_{\text{内力項}} \quad (5)$$

### 4.3 シミュレーション環境は何ですか？

シミュレーション環境は Matlab を使用しています．